



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências da Saúde

Sono e Luz: Repercussões da Era Digital

Francisca de Noronha Nascimento

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Medicina

(ciclo de estudos integrado)

Orientador: Dr. Carlos Manuel de Moura Martins Leitão

Covilhã, abril de 2018

Dedicatória

A todos os que enriqueceram o meu percurso académico e a quem desejo um bom sono.

Tudo o que dorme é criança de novo.
Fernando Pessoa, in *Livro do Desassossego*, 1982

Agradecimentos

Ao Dr. Carlos Leitão pela disponibilidade, prontidão e colaboração prestada.
À minha família e amigos que me acompanham e suportam.

Resumo

O ser humano rege-se por um relógio biológico intrínseco, constituído por uma periodicidade própria e com influência sobre um conjunto de parâmetros fisiológicos que auxiliam a definir os períodos destinados à atividade e os períodos destinados ao repouso. É este ritmo circadiano que permite a sincronização com os ritmos do ambiente, nomeadamente com ciclos diários de luz e escuridão. A luz é um dos fatores com maior contributo na sua regulação, dado que tem a capacidade de suprimir a produção de uma hormona indutora do sono: a melatonina. Assim, à noite, a típica ausência de luz possibilita a produção de melatonina que, por sua vez, desencadeia um efeito importante na promoção do sono.

O sono representa uma condição imprescindível à vida humana. Além de propiciar um estado de repouso essencial para o começo de um novo dia, constitui também um substrato para a manutenção da homeostasia humana, através do qual muitas funções fisiológicas se enaltecem. Uma boa higiene do sono é, por isso, crucial para a condição humana e é, geralmente, suportada por um ambiente tranquilo, com baixa iluminação e desprovido de preocupações, fatores que, em pleno século XXI, se encontram difíceis de alcançar, dadas as crescentes exigências sociais, laborais ou familiares.

A evolução do ser humano e das áreas e recursos que o rodeiam têm contribuído para alcançar objetivos que até então eram impensáveis. Em particular, o desenvolvimento tecnológico/digital veio permitir o aparecimento de fontes luminosas artificiais e disponibilizar uma série de dispositivos eletrónicos, dos quais se usufrui a qualquer instante e de forma tendencialmente crescente. Estes aparelhos tecnológicos, como computadores ou telemóveis, são meios de comunicação, de trabalho ou de entretenimento comuns nas horas que precedem o sono, mas são também fontes luminosas emissoras de luz com comprimentos de onda curtos com potencial para desregular o ritmo circadiano. Este facto está relacionado com a existência de fotorreceptores da retina que são suscetíveis a estas fontes luminosas artificiais que podem interferir na produção de melatonina, trazendo consequências negativas ao sono e à gestão do ritmo circadiano.

Palavras-Chave

Ritmo Circadiano; Sono; Fontes Luminosas Artificiais; Fotorreceptores; Melatonina.

Abstract

The human being regulates itself by an intrinsic biological clock, which is constituted by a self-periodicity and with influence on a set of physiological parameters that help to define the periods destined to activity and the periods destined to rest. It's this circadian rhythm that allows the synchronization with the environment's rhythms, namely the daily light-dark cycles. Light is one of the factors that majorly contributes to its regulation, since it has the ability to suppress the production of a sleep-inducing hormone: the melatonin. Thus, at night, the typical absence of light allows the production of melatonin which, by itself, triggers an important effect on the promotion of sleep.

Sleep represents an indispensable condition for human life. Besides providing an essential state of rest for the beginning of a new day, it also plays an important role on the maintenance of the human homeostasis, through which many physiological functions are enhanced. A good sleep hygiene is therefore crucial to the human condition and is generally sustained by a quiet environment, with low illumination and without stress, factors that in the 21st century are difficult to achieve, given the increasing social, labor or family demands.

The evolution of the human being and the areas and resources that surround it have contributed to achieve goals that until then were unthinkable. Particularly, technological/digital development has allowed the appearance of artificial light sources and has made available a series of electronic devices, which are used at any moment and in a growing trend. This technological gadgets, such as computers and mobile phones, are common means of communication, work and entertainment in the hours before bedtime, but they're also short wavelength light sources with potential to disrupt the circadian rhythm. This fact is related to the existence of retinal photoreceptors which are very susceptible to artificial light sources which can interfere in the melatonin production, bringing negative consequences to sleep and to circadian rhythm management.

Keywords

Circadian Rhythm; Sleep; Artificial Light Sources; Photoreceptors; Melatonin.

Índice

Dedicatória.....	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Palavras-Chave	iv
Abstract.....	v
Keywords	v
Índice	vi
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Acrónimos.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Metodologia	2
3. O Sono	3
3.1 Considerações Gerais.....	3
3.2 O Sono NREM.....	3
3.3 O Sono REM.....	4
3.4 A Distribuição do Sono	5
3.5 O Sono e a Idade	7
3.6 A Regulação do Sono	8
3.7 Os Benefícios do Sono	9
3.8 Os Efeitos da Privação do Sono	10
4. O Ritmo Circadiano	11
4.1 Considerações Gerais.....	11
4.2 A Regulação do Ritmo Circadiano	12
4.3 O Modelo de 2 Processos.....	13
5. A Luz	14
5.1 Considerações Gerais.....	14
5.2 A Perceção da Luz	14
5.3 A Sensibilidade à Luz.....	15

5.3.1 A Luz enriquecida em Azul	16
6. As Fontes Luminosas Artificiais	18
6.1 A Evolução da utilização de Fontes Luminosas	18
6.2 A Exposição a Fontes Luminosas Artificiais.....	20
6.2.1 Os Dispositivos Eletrónicos Emissores de Luz	20
7. Considerações Finais	23
Bibliografia.....	25

Lista de Figuras

Figura 1. Hipnograma com a demonstração de uma progressão de sono saudável.	6
Figura 2. Transições normais (verde) e anormais (vermelho) entre os diferentes estágios do sono	6
Figura 3. Comparação dos horários de sono em indivíduos com Perturbação de Avanço de Fase (ASPD) e indivíduos com Perturbação de Atraso de Fase (DSPD)	11
Figura 4. Interação do processo homeostático (S) com o processo circadiano (C)	13
Figura 5. Região correspondente à luz visível no espectro eletromagnético.	14
Figura 6. Comparação dos espectros de emissão de luz de uma lâmpada LED de luz branca, uma lâmpada fluorescente e uma lâmpada incandescente	19

Lista de Acrónimos

PSG	Polissonografia
EEG	Eletroencefalograma
EOG	Eletro-oculograma
EMG	Eletromiograma
NREM	<i>Non Rapid Eye Movement</i> (Movimentos Não Rápidos dos Olhos)
REM	Rapid Eye Movement (Movimentos Rápidos dos Olhos)
GABA	Gamma-aminobutyric Acid (Ácido Gama-aminobutírico)
IL2	Interleucina 2
IL6	Interleucina 6
GH	<i>Growth Hormone</i> (Hormona de Crescimento)
GHRH	<i>Growth Hormone-Releasing Hormone</i> (Hormona Libertadora da Hormona de Crescimento)
ACTH	<i>Adrenocorticotropic Hormone</i> (Corticotrofina)
CRH	<i>Corticotropin-Releasing Hormone</i> (Hormona Libertadora da Corticotrofina)
TSH	<i>Thyroid-Stimulating Hormone</i> (Hormona Estimulante da Tireoide)
PTH	Parathyroid Hormone (Hormona Paratiroideia)
ASPD	<i>Advanced Sleep-Phase Disorder</i> (Perturbação de Avanço de Fase)
DSPD	<i>Delayed Sleep-Phase Disorder</i> (Perturbação de Atraso de Fase)
NSQ	Núcleo Supraquiasmático
EFI	Efeitos Formadores de Imagem
ENFI	Efeitos Não Formadores de Imagem
nm	Nanómetro
CGRif	Células Ganglionares da Retina Intrinsecamente Fotossensíveis
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
BB	<i>Blue Blockers</i> (Bloqueadores de Azul)

1. Introdução

Até meados do século XX, o sono era considerado um desaproveitamento de tempo, uma necessidade fisiológica com o objetivo de restabelecer energias e de repousar o corpo e a mente, por forma a retomar a atividade do dia seguinte. Mais recentemente, compreendeu-se que o sono resulta de uma ação conjunta de mecanismos biológicos, comportando-se como um estado de “não acordado” fisiológico no qual, transitoriamente, se perde a vida de relação e se fomenta a homeostasia corporal. (1)

A descoberta da eletricidade, o desenvolvimento industrial e tecnológico, a imensa pressão económica e a ambição de superação constante das sociedades vieram revolucionar os paradigmas sociais, impondo novos hábitos de vida e de trabalho, novos objetivos e obrigações. (2,3) O sono pode representar um obstáculo à produtividade e ao sucesso, fator que contribui para abreviar progressivamente as horas despendidas a dormir, de forma a maximizar o trabalho, a vida familiar ou, simplesmente, as atividades pessoais. (1,2) Assim, existe uma tendência para prolongar o dia, estendendo as atividades diárias para o período noturno, com necessidade de recorrer a luzes artificiais em ambientes interiores e exteriores. (3)

O conceito de “poluição luminosa” tem vindo a ganhar relevância e representa a alteração dos níveis de luz noturna natural devido à utilização de fontes luminosas artificiais e que, no fundo, pode ser encarado como o excesso de luz que persiste mesmo que organicamente não seja requerido, como nos períodos antecedentes ao sono. (4) Fontes luminosas como lâmpadas, computadores, telemóveis ou *tablets* são parte do quotidiano das sociedades, em especial das mais desenvolvidas, e muitas das vezes, estão presentes nas horas que precedem o sono. (5)

Este uso indiscriminado de fontes luminosas artificiais nos períodos noturnos tem vindo a confrontar os ritmos da natureza, criando espaço para o aparecimento de questões e desenvolvimento de estudos no sentido de compreender qual o impacto a nível da regulação do ritmo circadiano e, conseqüentemente, as suas repercussões no sono. (6) Como se sabe, a presença ou ausência de luz contribuem como fatores importantes na regulação do ritmo circadiano e na manutenção do bem-estar físico e mental. (1) Importa, por isso, perceber se esta realidade crescente de recorrer constantemente a fontes de iluminação artificial, como dispositivos eletrónicos, influencia o ritmo biológico, os horários do sono e a produção da melatonina, principalmente nos períodos em que não é natural a exposição à luz brilhante e prolongada.

2. Metodologia

Para realização desta dissertação procedeu-se a uma revisão bibliográfica de artigos científicos com conteúdos relevantes para o tema proposto e com informação atualizada, bem como à consulta de livros e revistas científicas, orientada por características semelhantes.

A pesquisa dos artigos referidos efetuou-se com recurso principal à pesquisa eletrónica no motor de busca PubMed. As palavras-chave importantes para esta pesquisa foram “sleep”, “light”, “circadian rhythm”, “melatonin”, “blue light”, “electronic devices”. Foram considerados os artigos relevantes disponíveis a partir do ano de 2000, com destaque para os mais atuais. A língua dominante foi o inglês. Quando encontradas referências bibliográficas consideradas pertinentes nos artigos previamente selecionados foi feita a procura e consulta do artigo original.

A consulta bibliográfica de livros e revistas científicas destinou-se às áreas do sono, da psiquiatria e da física. A seleção da informação baseou-se na pertinência, na adequação e na atualidade dos conteúdos.

3. O Sono

3.1 Considerações Gerais

Segundo Martinez (7), o sono pode ser definido como “*estado fisiológico caracterizado por abolição prontamente reversível da consciência, por quiescência motora relativa e por elevação do limiar de respostas ao meio ambiente, que ocorre em episódios periódicos*”. Um bom sono é um estado funcional inerente à vida humana, um complemento imprescindível às horas de atividade, indiscutivelmente reparador e durante o qual se restabelece o equilíbrio aos mais variados níveis. (2) Buysse (8) defende que a saúde do sono pode corresponder a um “*padrão de sono/vigília multidimensional, adaptado às exigências individuais, sociais e ambientais, que promove o bem-estar físico e mental. A boa saúde do sono é caracterizada pela satisfação subjetiva, momento apropriado, duração adequada, elevada eficiência e alerta sustentado durante as horas de trabalho*”.

Até ao século XX, o sono representava uma condição fisiológica da qual o conhecimento era limitado, algo intangível, onde a maioria das informações relativas à qualidade do sono eram obtidas através da comparação entre os instantes de repouso e de atividade, bem como da observação de movimentos corporais ou bocejos. (7) O sono adquire maior relevância científica com a polissonografia (PSG), um método que permite monitorizar e registar múltiplas variáveis fisiológicas durante todo o período de sono. (9) No seu início era utilizada apenas como forma de registo e reconhecimento de fenómenos anómalos do sono, porém, a partir da década de 1970, tornam-se evidentes as suas amplas vantagens na área do diagnóstico. (7) Através do recurso ao eletroencefalograma (EEG), para deteção de ondas elétricas cerebrais, ao eletro-oculograma (EOG), para constatação de movimentos oculares e ao eletromiograma (EMG), para avaliação do tónus muscular, a PSG permitiu a aquisição de novos dados relativos à arquitetura do sono. (7,10) O sono foi deixando de ser considerado um estado homogéneo de repouso para ser admitido como uma sequência alternada de fases com características distintas, na qual se salientam os conceitos de sono lento (NREM: *non-rapid eye movement*) e sono paradoxal (REM: *rapid eye movement*). (7)

3.2 O Sono NREM

O sono NREM, ou também “sincronizado”, está subdividido em três fases (fase N1, N2 e N3) que se caracterizam pela presença de um aumento progressivo de ondas de baixa frequência e de grande amplitude, no EEG. (3,10)

A fase N1 representa a transição da vigília para o sono. (3) É um período de sono superficial ou "semi-sono", com duração de segundos a cerca de 7 minutos, facilmente despertável para a vigília e que, geralmente, é insuficiente para produzir a sensação de que já se dormiu (3,7). As ondas alfa (com frequências entre os 8.5 e os 12 Hz, no EEG) manifestam-se tipicamente durante a vigília, quando um indivíduo se encontra ainda acordado, relaxado mas de olhos já fechados (11). Estas ondas tendem a desaparecer à medida que a sonolência aumenta, dando lugar a ondas teta (com frequências entre os 4.5 e os 8 Hz, no EEG), e o EOG revela movimentos oculares lentos e intermitentes com tendência vertical em vez de lateral. (7,11) O tónus muscular começa a diminuir, existindo já uma diferença significativa em relação à vigília. (7)

Na fase N2, as ondas teta prevalecem, constituindo a atividade base do EEG, porém, regista-se a sobreposição transitória e repetitiva de dois elementos característicos: os complexos K e os fusos. Os primeiros tratam-se de ondas bifásicas de maior amplitude e os segundos representam episódios transitórios breves de atividade rítmica com frequências a variar entre 11 a 16 Hz, em forma de crescendo-decrescendo. (3,7) Após o aparecimento dos fusos, acordar torna-se uma tarefa mais exigente, contrastando com a fase N1 e, quando acontece, a pessoa tem consciência de que já dormiu. (7) Os movimentos oculares lentos cessam nesta fase, imobilizando os olhos. (3)

Na fase N3, instala-se o sono lento profundo, surgem as ondas delta de grande amplitude (com frequências entre os 0,5 a 4 Hz, no EEG), os movimentos oculares continuam ausentes e a frequência cardíaca e a frequência respiratória assumem valores baixos e regulares. (3,11) Anteriormente, o sono profundo era subdividido em dois estágios, denominados de estágios 3 e 4, com base na quantidade de ondas delta apresentadas, sendo que o 4 era constituído por maior atividade de ondas lentas. Atualmente, a fase N3 passa a englobá-los. (5)

Globalmente, o NREM é um período onde predomina a atividade parassimpática, com respostas típicas, como a diminuição da frequência cardíaca média, da pressão arterial, do débito cardíaco, da temperatura corporal e dos consumos de oxigénio cerebrais. Há miose, redução da sudção e do tónus muscular e a atividade cognitiva permanece, havendo ainda lugar para sonhos de carácter lógico, que são facilmente esquecidos e que parecem associar-se com as preocupações dominantes vividas no dia anterior. (3,11)

3.3 O Sono REM

O sono REM, também conhecido por "rápido" ou "dessincronizado", é caracterizado por ondas de baixa amplitude, sem frequências dominantes e, por vezes, com padrão bífido "em dentes de serra". (3,7,10) Estes fenómenos de dessincronização registados pelo EEG são o resultado da ativação da formação reticular mesencefálica, de forma idêntica ao que

acontece na vigília. (7) Nesta fase, o sistema nervoso simpático é responsável pelos fenômenos de grande variabilidade na pressão arterial, na frequência cardíaca e na frequência respiratória, mantendo-se o consumo de oxigênio cerebral semelhante ao da vigília. (3,10) Os mecanismos de termorregulação ficam inativos, sujeitando o organismo às temperaturas ambientes. (3) É um período de intensa atividade onírica, com sonhos vívidos e até surrealistas, ricos em conteúdos que parecem estar mais relacionados com memórias do passado e tendem a ser facilmente recordados. (3,11) Ereções penianas e clitorianas também ocorrem tipicamente durante o período REM. (9) Há atonia muscular generalizada, porém, há preservação da função dos músculos respiratórios e oculomotores, permitindo o aparecimento dos característicos movimentos oculares rápidos e irregulares, que ocupam cerca de 5% a 15% do sono REM. (7) REM fásico é uma denominação atribuída a estes períodos com manifestações oculares, particularmente associadas a ativação de áreas cerebrais importantes para o alerta, a atenção e a emoção, ao passo que REM tônico é o conceito usado para os momentos em que a atonia persiste isoladamente. (7,11) Parece existir uma maior propensão para a ocorrência do sono REM quando a temperatura corporal começa a subir, logo após ter atingido o seu mínimo. (9)

3.4 A Distribuição do Sono

As fases de sono NREM e REM vão alternando sucessivamente durante a noite, formando ciclos com durações de cerca de 90 a 100 minutos. Existe um predomínio do período de sono NREM nas primeiras horas de sono que decresce à medida que o sono avança, tornando o REM mais evidente no final do sono. (11)

A fase NREM compreende cerca de 75% a 80% do sono, distribuindo-se de forma desigual pelas suas fases. (10) A fase N1 compreende cerca de 2 a 5% do período de sono, a fase N2 cerca de 50% e a fase N3 cerca de 12 a 20%. (10) O sono REM corresponde a cerca de 20% a 25%, havendo lugar para cerca de 4 a 6 ciclos de REM. (10,11) Os restantes 5% são períodos de vigília para os quais, geralmente, não se guardam recordações. (10) Esta arquitetura do sono é mais característica do adulto jovem, sofrendo transformações com a idade. (7)

As características dos ciclos REM-NREM variam à medida que o sono progride, sendo que o primeiro período NREM é bastante rico em sono de ondas lentas (fase N3), havendo uma diminuição nos ciclos seguintes. A quantidade de sono de ondas lentas é francamente influenciada pela quantidade de horas de alerta anteriores, assim, quanto mais horas se passa acordado, maior será a quantidade de sono de ondas lentas subsequente. (11)

Dois conceitos importantes para compreender a distribuição do sono são os conceitos de “latência de sono” e “latência do REM”. O primeiro refere-se ao período de tempo

3.5 O Sono e a Idade

Os padrões de sono revelam uma grande variabilidade em função da faixa etária e do período de desenvolvimento correspondente, mas importa salientar as diferenças na quantidade, qualidade e seguimento de horas dormidas entre indivíduos. (2,3) Em termos genéricos, a quantidade e qualidade do sono ideais para um indivíduo serão as que lhe permitirão manter-se vígil e ativo durante o dia. (12) Com o avanço da idade, o sono sofre adaptações na sua duração e na sua macro e microestrutura, um processo com importante contributo na adaptação às exigências do meio ambiente. (3)

Até aos primeiros 2 meses de vida, o sono divide-se em sono ativo (idêntico ao REM, no adulto) e sono tranquilo (idêntico ao NREM, no adulto). O primeiro é caracterizado por ligeiros movimentos dos dedos dos membros superiores e inferiores, por mímica facial com expressões variadas e por movimentos oculares. O segundo, para além de sucções periódicas e espasmos ocasionais, é um período de sono estável, com movimentos oculares e corporais ausentes. (3) Um recém-nascido dorme, por norma, cerca de 16 a 17,5 horas por dia, distribuídas por diversos períodos de sono alternados com períodos de vigília, com um ritmo de cerca de 4 horas. (2,3) Cerca de 50% do seu sono é o correspondente ao REM e este facto parece ser importante para o desenvolvimento inicial do cérebro. (9)

A partir dos 2 meses, o organismo dota-se de sincronia com o ritmo das 24 horas diárias, podendo usar-se a nomenclatura de fases do sono do adulto. Até aos 3 anos de idade, a percentagem de REM aproxima-se dos cerca de 20% do total de tempo de sono do adulto e os períodos de sono reduzem-se até atingirem um padrão bifásico que, já em idade pré-escolar, é substituído por um padrão monofásico próximo do da idade adulta. (3)

Dos 6 aos 12 anos de idade, a necessidade de sono decresce para 9 a 10 horas e é a partir destas idades que o horário para dormir se torna mais tardio. A adolescência caracteriza-se por uma maior necessidade de dormir, os despertares noturnos aumentam e os atrasos de fase tornam-se mais comuns, pelo facto de se deitarem mais tarde. Há, neste período, uma tendência para hipersónia fisiológica. (3)

Na idade adulta, os padrões de sono são bastante variáveis, com diferenças intra e interindividuais não patológicas. (12) A duração média total de uma noite de sono ocupa cerca de 7 a 8 horas em 85% a 90% dos adultos saudáveis, menos de 6 horas em 5% dos mesmos e 9 a 10 horas em outros 5%. (2) Nesta faixa etária, existe também uma diminuição da fase 3 do NREM, sendo que adultos jovens possuem mais tempo em sono profundo do que adultos mais velhos. (9) *Long sleepers* é o termo atribuído aos indivíduos que requerem mais horas de sono, contrastando com o termo *short sleepers* que representa aqueles indivíduos que com poucas horas de sono (4 a 5 horas) se mantêm ativos. (12) Alguns estudos defendem que parece existir uma relação destas duas variantes com características da personalidade, assim, adultos que dormem até 6 horas de sono tendem a ser mais produtivos e enérgicos, ao passo que os que dormem mais horas tendem a ser mais introvertidos e ansiosos. (11)

Em idades avançadas, o sono noturno pode tornar-se mais escasso, com cerca de 5 a 6 horas de sono e retoma o padrão bifásico, com o hábito da sesta após o almoço. (2,3) Há uma tendência para um avanço de fase, com o deitar e o despertar mais precoces, contrariamente à adolescência. (11) Ou seja, com a idade é-se mais matutino e menos vespertino e esta característica parece desfavorecer a capacidade de lidar com a mudança de horários, pelo que o trabalho por turnos tende a ser menos tolerado nestas idades. (5) O sono torna-se caracteristicamente mais superficial e fragmentado, com aumento da latência, com redução das fases de sono profundo e com gradual diminuição dos ciclos de REM, resultando em fadiga física e mental progressiva, sensação de sono não reparador e baixa estimulação cerebral de áreas destinadas à aprendizagem e à memória. (1,9) Estas alterações são mais significativas se existirem comorbilidades associadas, nomeadamente doenças físicas ou psiquiátricas. (3)

3.6 A Regulação do Sono

As diferenças nas características do sono estão relacionadas com fatores homeostáticos, genéticos, circadianos, comportamentais e etários. (12) A luz, o calor, o clima, o ruído, a alimentação, os hábitos sociais e pessoais ou mesmo as exigências e preocupações quotidianas podem ter influência na regulação do sono. (13) Três fatores essenciais na coordenação do sono e vigília de cada indivíduo são: o sistema nervoso autónomo, com potencial para prejudicar o sono através de fatores endógenos ou exógenos que aumentem a atividade simpática, como estimulantes ou estados de ansiedade; a homeostasia vigília/sono e a presença de um ritmo circadiano intrínseco. (12)

Diversos neurotransmissores e estruturas cerebrais como o tronco cerebral, o tálamo e o hipotálamo estão envolvidos num conjunto de processos fisiológicos que modulam o sono. O sono NREM é promovido pela ação do GABA (Gamma-aminobutyric Acid), um dos principais neurotransmissores de ação inibitória, e pela adenosina. A acetilcolina, a dopamina e o glutamato parecem estar envolvidos tanto na promoção da vigília como na promoção do sono REM. Por sua vez, a serotonina, a noradrenalina, a histamina e orexina/hipocretina parecem promover a vigília e inibir o sono REM. Interações complexas entre estes neurotransmissores contribuem para desencadear as transições da vigília para o sono NREM e alternância entre ciclos REM e NREM. (11)

3.7 Os Benefícios do Sono

O sono é um estado multifuncional com um contributo ímpar na manutenção e qualidade da vigília, nos mecanismos de termorregulação central, nos processos anabólicos e de conservação de energia. (3) Dormir sacia a fome, a sede, a atividade sexual e estimula o sistema imunológico através da produção de citocinas. (2,3) Na verdade, a imunidade apresenta uma relação bidirecional com o sono. Citocinas inflamatórias induzem o sono NREM e por sua vez, o sono é capaz de fomentar a libertação e/ou produção de citocinas, em especial a interleucina 2 (IL2) e interleucina 6 (IL6) e esta última é fortemente suprimida na privação de sono. (3)

As áreas cerebrais também obtêm benefícios pelo favorecimento do desenvolvimento, maturação e plasticidade neuronais, bem como o favorecimento da aprendizagem e da criatividade. (3,13) Um bom sono facilita a incorporação de novas experiências na memória a longo prazo, já que as informações captadas no quotidiano durante a vigília são transformadas e reestruturadas durante o período de sono subsequente, fomentando a consolidação da memória. (1,3)

A remoção de toxinas e resíduos do cérebro também parece obter benefício durante os períodos de sono. O sistema glinfático, recentemente descoberto, é um sistema de remoção de resíduos específico do cérebro que parece aumentar a sua produtividade em 60% durante o sono em relação à vigília. (5)

O sono é, também, o substrato para a produção de sonhos e defende-se que estes não se limitam a imagens subconscientes, mas propiciam o equilíbrio emocional, a regulação de processos relacionados com a memória e reforçam os comportamentos próprios da espécie. (2,11)

O sono possui, ainda, uma relação importante com a função endócrina, desencadeando a libertação de diversas hormonas, que por sua vez podem ter implicações na própria qualidade do sono. Hormonas como a hormona de crescimento (GH), a hormona libertadora da hormona do crescimento (GHRH), a prolactina, a corticotrofina (ACTH), a hormona libertadora de corticotrofina (CRH), a hormona estimulante da tiroide (TSH), a testosterona, a hormona paratiroideia (PTH) ou ainda a leptina, a grelina e a orexina/hipocretina sofrem variações na sua produção consoante a fase do sono que está a decorrer. Assim, reduções nos seus níveis plasmáticos podem estar relacionadas com fases do sono deficientes. (3,11)

3.8 Os Efeitos da Privação do Sono

A transição da vigília para o sono comporta processos fisiológicos complexos, exigindo alterações motoras, sensoriais, autônomas, térmicas e hormonais. Além disto, pressupõe uma harmonia entre a quiescência dos sentidos (visão, audição, olfato e tato) e a libertação emocional dos acontecimentos e preocupações diárias. (1,7) Quando existe uma perda de contributo de algum destes mecanismos, o sono é prejudicado, de forma mais ou menos intensa, comportando implicações que se vão manifestando consoante a extensão da privação. Uma privação pode ser aguda (curto prazo) ou crónica (longo prazo). (11)

A privação do sono comporta alterações comportamentais e fisiológicas que implicam risco para a própria vida, principalmente se for mantida por um período superior a cinco ou seis dias. (2) Algumas das consequências relacionam-se com a diminuição do desempenho psicomotor, com alterações da marcha e do equilíbrio, com a diminuição da expressividade facial a estímulos, com os lapsos de atenção, com a dificuldade de concentração, com o declínio da memória para eventos recentes, com o prolongamento do tempo de reação ou tendência para infeções frequentes. (1,7) Parece existir, ainda, uma menor capacidade de tolerância à dor, particularmente em indivíduos privados de sono REM (11). Alterações do humor, sensações de fadiga e irritabilidade e o aumento de respostas impulsivas podem surgir, prejudicando as relações familiares e sociais. Defende-se que o desempenho comportamental de um indivíduo privado completamente de sono durante uma noite é idêntico ao de um indivíduo com uma alcoolémia de 0,8 g/L. Acresce-se, assim, o risco de trauma, quedas e acidentes não intencionais. (2)

Outras repercussões relevantes da alteração dos padrões de sono estão relacionadas com o aumento do risco de episódios cardiovasculares e cerebrovasculares e com o favorecimento, em todas as idades, de obesidade (essencialmente, pela diminuição da leptina e aumento da orexina), de hipertensão arterial (essencialmente, pelo aumento da secreção de cortisol matinal), de diabetes *mellitus* tipo 2 (pelo aumento da resistência à insulina), de cancro, de distúrbios psiquiátricos, onde se salientam a depressão e os quadros ansiosos, e de morte precoce. (2,5,12)

4. O Ritmo Circadiano

4.1 Considerações Gerais

O conceito de ritmo circadiano, do latim *circa diem*, ou seja, “cerca de um dia”, designa o período natural de cerca de 24 horas durante o qual se desenvolvem e completam os ciclos biológicos. (6) Esta característica biológica possui a particularidade de permanecer presente mesmo na ausência de estímulos externos, assim, indivíduos privados de ambientes exteriores mantêm ritmos de repouso/atividade, de pressão sanguínea, de temperatura ou de produção hormonal com periodicidades semelhantes a 24 horas. (14)

Na realidade, o ritmo circadiano humano corresponde a aproximadamente 24,18 horas (24 horas e 11 minutos) e, idealmente, para ser proveitoso requer sincronização com os ciclos de luz e escuridão do meio ambiente regidos pelo movimento rotacional da Terra. (6,11) Para que esse ajuste aconteça, o ritmo circadiano é sujeito a pequenos atrasos ou avanços de fase, que se propiciam por intermédio principal da presença ou ausência de luz. (6) Esta sincronização do meio interno com o meio externo é adicionalmente favorecida por outros estímulos como a temperatura, o sono, as refeições ou as interações sociais. (5)

O conceito de cronótipo, “tipo de tempo”, simboliza a preferência do cérebro para um determinado momento do dia. Desta forma, há indivíduos mais notívagos (também conhecidos por “mochos”) com cronótipos tardios e indivíduos mais matutinos (também conhecidos por “cotovias”) com cronótipos mais precoces. (5)

As perturbações do ritmo circadiano acontecem quando há um comprometimento prolongado dos ritmos fisiológicos e comportamentais, ou seja, quando a sincronia entre o ritmo biológico e os horários socialmente convencionados se encontra alterada, gerando as denominadas perturbações de avanço de fase (ASPD) ou perturbações de atraso de fase (DSPD) (5,15,16).

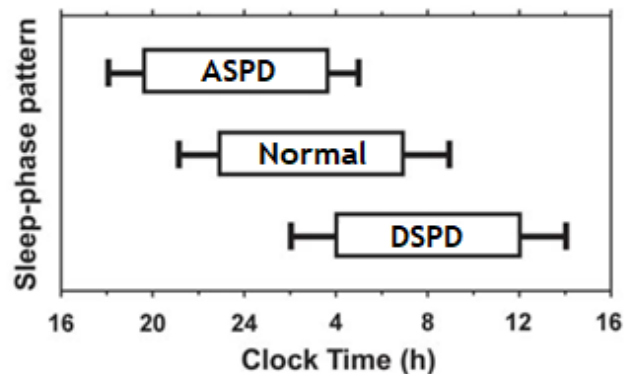


Figura 3. Comparação dos horários de sono em indivíduos com Perturbação de Avanço de Fase (ASPD) e indivíduos com Perturbação de Atraso de Fase (DSPD). (Adaptado de Gooley J., Figura 2., p. 671) (15)

No primeiro caso, os indivíduos são matutinos, sendo comum o acordar precoce e a sonolência excessiva ao final do dia. No segundo caso, são notívagos com frequente insônia inicial e dificuldade em despertar à hora pretendida. Ambas as situações estão frequentemente relacionadas com uma alteração no estado de alerta e sonolência diurna. (12)

4.2 A Regulação do Ritmo Circadiano

Para que o ritmo fisiológico se coordene com as variações ambientais diárias existe um sincronizador circadiano dominante e autossuficiente que se denomina de núcleo supraquiasmático (NSQ), localizado no hipotálamo. (9,17) É o principal centro de regulação dos ritmos biológicos, com influência a nível da temperatura corporal, da secreção hormonal e da manutenção dos ciclos sono-vigília. (1,9) Uma adaptação inadequada aos ciclos da natureza, aos períodos de luz e escuridão, pode estar associada a alterações na regulação da temperatura, do sistema cardiovascular, do sistema imunológico, do sono, da vigília, da memória e da função cognitiva. (18)

A luz é a principal sincronizadora do relógio biológico humano e tanto a luz, como a temperatura ambiente estão dependentes da latitude geográfica. (18,16) Durante os períodos de luz, o NSQ recebe os estímulos luminosos captados pelos fotorreceptores da retina, através do trato retino-hipotalâmico, facilitando os períodos de atividade. (17) Em oposição, na ausência de luz, o NSQ é responsável por estimular indiretamente a glândula pineal, uma pequena glândula endócrina, a produzir uma hormona com um importante papel na regulação do ritmo circadiano: a melatonina. (9,18) Os pinealócitos são as principais células da glândula pineal e são as responsáveis pela produção e secreção da melatonina para a circulação sanguínea, quando estimuladas por aferências do gânglio cervical superior que, por sua vez se encontra sob influência do NSQ. (11)

Em condições normais, a produção de melatonina é máxima durante a noite e mínima durante o dia. (19) Inicia-se entre as 18h e as 20h, fornecendo a indicação de que a hora do sono se aproxima e começa a decrescer por volta das 4h às 6h, após atingir um pico máximo entre as 3h e as 4h, altura em que a vigília é mínima. (3,9) A exposição à luz durante períodos em que seria suposto a sua ausência leva a que a secreção de melatonina fique comprometida, facto com implicações no início do sono. (9)

A exposição à luz brilhante antes do período de sono tende a provocar um atraso de fase, tornando mais demorado o início do sono, já a mesma exposição pouco tempo antes ou logo após o acordar tem capacidade para gerar um avanço de fase, desencadeando um despertar mais fácil. (9)

A sensibilidade à luz pode, também, estar relacionada com a oscilação diária da temperatura corporal, sendo que temperaturas corporais mais elevadas propiciam a vigília,

enquanto que temperaturas corporais mais baixas facilitam o sono. Desta forma, uma exposição luminosa antes da temperatura mínima corporal ser atingida atrasa o ritmo circadiano, ao passo que uma exposição após esse mínimo de temperatura avança o ritmo circadiano. (9) Estes dados são considerados relevantes, na medida em que a luz brilhante tem efeitos no ritmo circadiano, podendo ser prejudicial à sua manutenção, quando erradamente aplicada.

4.3 O Modelo de 2 Processos

Em 1932, Borbély (20) propôs um modelo que tem contribuído para compreender a existência de momentos distintos para o começo do sono e o despertar. O modelo é composto pela interação de dois processos independentes: o processo homeostático (processo S) e o processo circadiano (processo C). O processo S defende que a sonolência está diretamente relacionada com o tempo de vigília, ou seja, quanto mais horas se passa acordado, maior será a sensação de sonolência. O processo C relaciona-se com a tendência circadiana para o estado de alerta e parece ter relação com a variação da temperatura corporal diária. (9) Assim, o modelo sugere que os períodos de sono têm maior propensão para acontecer nos momentos em que se alia a maior permissividade do ritmo circadiano à existência de um forte impulso homeostático. Após o período de sono, a pressão homeostática dissipa-se e o ritmo circadiano altera-se para uma fase em que o sono é menos favorecido. (11)

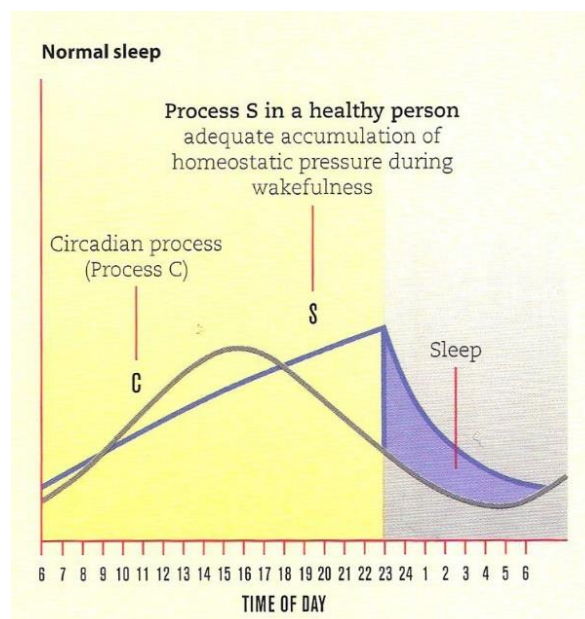


Figura 4. Interação do processo homeostático (S) com o processo circadiano (C). (Adaptado de Mendelson W.B., p. 138) (11)

5. A Luz

5.1 Considerações Gerais

A luz está genericamente relacionada com a sensibilidade que o sistema visual tem à radiação eletromagnética. (21) Segundo Sliney (22), a Comissão Internacional da Iluminação define cientificamente a luz como sendo “a característica de todas as sensações e percepções que é específica para a visão” ou “a radiação que é considerada do ponto de vista da sua habilidade para excitar o sistema visual humano”, no entanto, ressalva ainda que “é geralmente, mas nem sempre, percebida como o resultado da ação do estímulo luminoso no sistema visual”.

A presença de luz é fundamental para criar estímulos visuais que permitam perceber o mundo exterior, porém, a luz não é apenas um estímulo visual primário, sendo que contribui também para outros efeitos não relacionados com a formação da imagem. A luz exerce efeitos fisiológicos e comportamentais de forma indireta, através da sincronização do ritmo circadiano, mas também de forma direta, pela modulação do estado de alerta e sono. (23) Assim, é um elemento crucial na manutenção de respostas comportamentais e psicológicas, no desempenho cognitivo, na regulação do sono e do estado de alerta, na sensação de bem-estar e na produção hormonal. (24,25)

5.2 A Percepção da Luz

Todo o espectro eletromagnético é composto por radiação, porém, o olho humano é apenas capaz de detectar uma pequena porção desse vasto espectro de energia eletromagnética, denominada de luz visível. (26) A luz visível é tipicamente descrita através do seu comprimento de onda e a exposição a diferentes tipos de cores acontece de forma dependente dos diferentes comprimentos de onda do espectro visível. (23) Assim, o violeta possui os menores comprimentos de onda da luz visível, em torno dos 380 nm (nanômetros), em oposição ao vermelho que concentra os maiores comprimentos de onda, a rondar os 700 nm. (26)



Figura 5. Região correspondente à luz visível no espectro eletromagnético. (Adaptado de Butcher G., p.18) (26)

A percepção da luz está dependente da retina, uma membrana que integra a constituição do olho humano e cuja função é a de converter estímulos luminosos em impulsos nervosos. (21) Este processo requer a presença e integridade de fotorreceptores retinianos especializados que possuem, na sua estrutura, fotopigmentos que captam estímulos luminosos através da sua capacidade de absorção de luz, entre os quais se destaca a família das opsinas. (14,24)

Este processo de fotorreção está relacionado com dois tipos de efeitos: os visuais, efeitos formadores de imagem (EFI) e os não visuais, efeitos não formadores de imagem (ENFI). (14,23) Assim, existem os fotorreceptores “clássicos” que são responsáveis pelos EFI: os cones e os bastonetes. (23,24) Os cones, de conformação cónica, são recetores de reconhecimento das cores, responsáveis pela denominada visão fotópica. (21,27) Já os bastonetes possuem uma conformação alongada, recolhem informação relativa à luminosidade do meio ambiente e são responsáveis pela visão escotópica. (21,24,27) Ambos transmitem a informação captada para grupos de células nervosas especializadas que em seguida conduzem o estímulo para células ganglionares da retina, cujos axónios formam o nervo ótico. (14) Através desta via neuronal, a informação visual é levada até centros específicos do cérebro responsáveis pela formação das imagens, nomeadamente o córtex visual. (14,21) Paralelamente, os ENFI geram respostas fisiológicas, neuroendócrinas e comportamentais, entre as quais, a manutenção do ritmo circadiano, a produção de melatonina e a resposta pupilar à luz. (24,28)

Em 1998, foi descoberta a melanopsina (*Opn4*), um novo fotopigmento (29) com capacidade de responder à luz mesmo quando isolada do resto da retina. (30) Esta opsina é expressa numa subpopulação reduzida de células ganglionares da retina (3 a 5%), denominadas de células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis (CGRif). (23,31) As CGRif são as principais responsáveis pelos ENFI e, conseqüentemente, pela adaptação do ritmo circadiano ao ambiente. (18,30) Estas células sofrem influências da sua fotorreção intrínseca, através da melanopsina e, adicionalmente, podem ser alvo de estímulos extrínsecos complementares captados pelos cones e bastonetes, através da existência de circuitos intra-retinianos. (30,32) Assim, são capazes de conjugar a informação não formadora de imagens e conduzi-la até estruturas responsáveis pelo seu processamento, como o NSQ, o centro de controlo do ritmo circadiano, com influência na produção da melatonina através da glândula pineal. (23,30)

5.3 A Sensibilidade à Luz

É possível afirmar, então, que existem três classes de fotorreceptores no olho humano: os bastonetes, os cones e as CGRif, que partilham a capacidade de absorção de luz, mas diferem na sua sensibilidade e efeitos desencadeados. (29)

A visão escotópica é mais sensível a comprimentos de onda a rondar os 500 nm. (30) A sensibilidade da visão fotópica está dependente do tipo de cones envolvidos: os S (*short*), mais sensíveis a comprimentos de onda na ordem dos 420 nm (azul); os M (*medium*), mais sensíveis a 535 nm (verde); e os L (*long*), mais sensíveis a 565 nm (vermelho), sendo que, a visão fotópica é genericamente mais suscetível a comprimentos de onda na ordem dos 555 nm. (27,30) A melanopsina, por sua vez, apresenta uma maior sensibilidade para comprimentos de onda próximos a 480 nm e está associada com o conceito de irradiância, fornecendo indicações relativamente ao brilho ambiente. (23,30)

A sensibilidade máxima do olho humano para a supressão da produção de melatonina na exposição à luz e, conseqüentemente, para a promoção do estado de alerta, verifica-se em comprimentos de onda curtos, em especial, no intervalo compreendido entre 460 a 480 nm. (24) Uma luz monocromática de 505 nm é, aproximadamente, quatro vezes mais potente a induzir a supressão de melatonina do que uma luz monocromática de 555 nm, em indivíduos saudáveis. (19) Adicionalmente, uma luz com comprimentos de onda entre 460 e 480 nm é mais eficiente a produzir uma mudança de fase no ritmo circadiano do que uma luz monocromática de 555 nm. (31) Estes dados apoiam a hipótese de que a exposição a luzes com comprimentos de onda mais curtos (< 550 nm) têm maior impacto na supressão da melatonina. (24)

Investigações desenvolvidas por Gooley *et al* (32) procuraram determinar quais os principais intervenientes na transmissão dos ENFI, comparando o efeito na supressão de melatonina face à exposição de dois tipos distintos de luz: uma luz verde de 555 e uma luz azul de 460 nm, por um período de 6.5 horas. Na fase inicial ambas as exposições suprimiram a produção de melatonina de forma semelhante, havendo um declínio progressivo na exposição à luz verde de 555 nm quando comparada com a exposição à luz azul de 460 nm. Estes dados vêm realçar a contribuição da fotorreção proporcionada pelos cones na condução de ENFI na exposição de curta-duração a luzes de baixa irradiância. Comparativamente, a fotorreção mediada pela melanopsina é a principal responsável na exposição de longa duração a luzes de elevada irradiância. Estes dados destacam o papel distinto destes fotorreceptores, ao invés de redundante, na condução de estímulos não visuais. Assim, além da duração, da intensidade ou do horário de exposição à luz é importante considerar também o comprimento de onda como fator interveniente na gestão do ritmo circadiano, contribuindo para respostas fisiológicas e comportamentais humanas. (23,24)

5.3.1 A Luz enriquecida em Azul

Vários estudos são consensuais a defender que a luz enriquecida em azul (“*blue-enriched light*”), de comprimentos de onda compreendidos entre 400 a 490 nm, é mais eficiente a promover melhores desempenhos cognitivos e a reduzir a sensação de sonolência.

(23,31,33) Este facto reforça a melanopsina como mediadora primária nesta questão da regulação do ritmo circadiano, por ser mais sensível a esses comprimentos de onda, ao invés da fotorreção mediada pela visão fotópica e escotópica. (23,34) Esta ideia é suportada por outros estudos que demonstram a supressão da produção de melatonina induzida pela luz e a capacidade de manutenção da sincronização dos ciclos luz/escuridão em indivíduos com perda da acuidade visual e défices na visão a cores, ou seja, com uma fotorreção mediada por bastonetes e cones funcionalmente comprometida. (19,23)

Este tipo de luz está associada a características distintas que merecem especial destaque: auxilia na modulação dos ciclos naturais de repouso e atividade, incrementa o estado de alerta e a capacidade de manter a atenção, melhora o desempenho cognitivo e o eleva o humor. (23,24,34) O seu interesse estende-se como método terapêutico (fototerapia) no domínio dos distúrbios afetivos sazonais ou no domínio dos problemas cognitivos e físicos relacionados com a demência, a quimioterapia ou lesões cerebrais traumáticas. (30,35) Está, ainda, indicada como resposta a distúrbios do ritmo circadiano, como os que decorrem do trabalho por turnos ou *jet lag*, e situações de redução do estado de alerta e sensação de bem-estar em locais onde as condições luminosas se encontram cronicamente alteradas durante o dia ou a luz solar não esteja disponível, como nas regiões polares. (36) Inicialmente, a fototerapia utilizava largos espectros de luz, porém, na atualidade o recurso a luzes monocromáticas, mais especificamente azuis (com 470 nm) ou azuis-esverdeadas (com 500 nm), tem vindo a expandir-se. (3) A sua grande particularidade é conseguir, através da luz, redefinir os horários para o despertar e o adormecer, podendo considerar-se este um método efetivo no tratamento de distúrbios do sono. (15,37)

Os indivíduos jovens são particularmente suscetíveis à luz, comparativamente a idades mais avançadas, à custa de processos típicos do envelhecimento. (38) O envelhecimento está frequentemente relacionado com distúrbios no sono e no ritmo circadiano e algumas respostas fisiológicas parecem sofrer modificações com o avanço da idade. A redução do tamanho pupilar e o aumento da absorção de luz pelo cristalino são dois fatores que contribuem para atenuar a quantidade de luz que chega à retina. (18) Assim, com o passar dos anos, parece existir um decréscimo na transmissão de luz para a retina, principalmente no espectro do azul (400 a 480 nm) e, segundo alguns estudos, esta menor capacidade de perceber a luz azul durante o período diurno pode relacionar-se com os distúrbios circadianos e a menor qualidade de vida associada a indivíduos mais velhos. (18,31) Contudo, um estudo desenvolvido por Najjar *et al* (18) demonstrou que em indivíduos mais velhos, a diminuição da capacidade de transmissão da luz pelo cristalino não conduziu necessariamente a uma diminuição dos ENFI, como seria de esperar. Na verdade, verificou-se uma adaptação do ponto máximo de supressão de melatonina para comprimentos de onda maiores (cerca de 494 nm) em relação a indivíduos mais jovens. Assume-se, então, que mecanismos compensatórios e adaptativos aconteçam com a idade, permitindo preservar este tipo de respostas fisiológicas.

6. As Fontes Luminosas Artificiais

6.1 A Evolução da utilização de Fontes Luminosas

Em condições naturais, a única fonte luminosa é a luz solar que é variável consoante a posição que o sol vai adotando, desde o momento que nasce, até que se põe. A meio do dia é intrinsecamente enriquecida de comprimentos de onda curtos, tornando-se cada vez mais avermelhada à medida que anoitece, passando a assumir comprimentos de onda longos. Trata-se de um ajuste no espectro luminoso visível que auxilia à regulação do ritmo circadiano, preparando o organismo para o período noturno, onde é típica a ausência de luz e não é expectável a exposição à luz brilhante ou prolongada, facto que invariavelmente se tem vindo a alterar com o decorrer da evolução da humanidade. (6,22)

As sociedades pré-industriais usavam o fogo como principal fonte luminosa durante a noite, através de fogueiras, tochas, velas, ou, mais tarde, lamparinas a óleo. (22) Daí em diante, o ambiente noturno transformou-se progressivamente num ambiente iluminado artificialmente, especialmente nos países desenvolvidos, permitindo estender a visão de forma confortável pelas horas de escuridão. (21,22)

Nos primórdios da utilização da eletricidade (séc. XIX), surgiram as lâmpadas a gás e, mais tarde, as lâmpadas incandescentes como principal recurso de iluminação artificial, caracteristicamente compostas por comprimentos de onda longos, no espectro do laranja-vermelho. Fruto da inovação, apareceram as lâmpadas fluorescentes (séc. XX), mais eficientes e com grande utilização ao nível de espaços laborais e comerciais, sendo menos comuns em ambientes domésticos. Pouco tempo mais tarde, desenvolvem-se as lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*), revolucionárias, que vieram superar as características das lâmpadas fluorescentes. (22) São mais pequenas, mais eficientes energeticamente, mais robustas, com maior durabilidade e menor emissão de calor. (22,39,40) Esta recente geração de iluminação, denominada de iluminação de estado sólido, relevou enormes capacidades e tem sido alvo de grande exploração e inovação. (31)

Inicialmente, as lâmpadas LED surgiram com comprimentos de onda estreitos, representando uma só cor visível e, mais recentemente, evoluíram para produzir a luz branca, a mais utilizada. (22) Os LED de luz branca são, essencialmente, fontes bicromáticas que conjugam a emissão de LED azul com a emissão de luz amarela obtida através do uso de moléculas de fósforo. Estas moléculas absorvem a luz azul, simulando uma coloração branca. Uma das particularidades é que este efeito de transformação tende a reduzir-se pelo facto de as moléculas de fósforo terem uma longevidade limitada, deteriorando-se com o tempo, fazendo prevalecer a luz azulada ao invés da inicialmente branca. Assim, apesar dos LED de luz branca serem considerados como iluminação de estado sólido análoga às fontes fluorescentes, o seu espectro é significativamente diferente do tradicional associado às fontes

luminosas fluorescentes ou incandescentes. No entanto, apesar das evidentes diferenças nos seus espectros de emissão, as três podem parecer semelhantes quando olhadas diretamente pelo olho humano. (31)

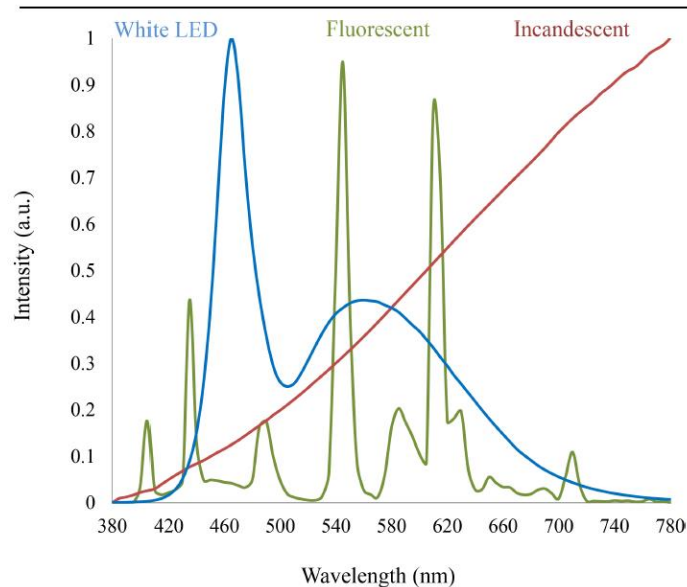


Figura 6. Comparação dos espectros de emissão de luz de uma lâmpada LED de luz branca, uma lâmpada fluorescente e uma lâmpada incandescente. (Adaptado de Tosini *et al*, Figura 1., p. 62) (31)

As exigências do mundo atual no sentido de promover a conservação de energia e reduzir custos apontam para a preferência da utilização de lâmpadas fluorescentes compactas e, ainda mais, de lâmpadas LED de luz branca, cada vez mais disponíveis, dada a sua eficiência energética. (22,41)

Além desta utilização na iluminação de espaços em geral, interiores e exteriores, as lâmpadas LED expandiram-se para outros mercados, tornando-se uma opção bastante viável na indústria de produção de dispositivos eletrônicos. As suas pequenas dimensões começaram por ser ideais para a aplicação em telemóveis, dispositivos com ecrãs de tamanho reduzido, e rapidamente as suas potencialidades chegaram à produção de computadores. Atualmente, as lâmpadas LED são o recurso emissor de luz mais comum na área dos dispositivos eletrônicos, além dos telemóveis e computadores, também outros como *tablets* e televisões as possuem. Daqui podemos inferir que a luz azul é a dominante nos sistemas de iluminação de estado sólido, cada vez mais frequentes e de aplicações variadas, encontrando-se presentes como fontes de iluminação direta, em dispositivos eletrônicos, e fontes de iluminação indireta, produzindo luz para um espaço ou compartimento. (31)

6.2 A Exposição a Fontes Luminosas Artificiais

O surgimento e a franca disponibilidade e diversidade de fontes luminosas artificiais, fruto da inovação tecnológica, têm vindo a contribuir, efetivamente, para um avanço civilizacional significativo. Criaram-se mais espaços iluminados em ambientes domésticos, comerciais, laborais ou mesmo de lazer e abreviou-se o tempo despendido na realização de tarefas, através do acesso mais rápido a informação, comunicação ou meios de entretenimento. Em contrapartida, esta evolução tecnológica veio interferir nos quotidianos através de estímulos que se revelam cada vez mais irresistíveis, invadindo e perturbando horários fulcrais para a manutenção do ritmo circadiano. (42)

Nas últimas décadas, a qualidade e duração do sono reduziram significativamente, com repercussões na saúde e no bem-estar geral. O sono sofre influências importantes da luz e a exposição prolongada a fontes de luz artificiais e brilhantes no período noturno a que as sociedades se sujeitam é uma realidade. (42)

Anteriormente, o predomínio da utilização de lâmpadas incandescentes compostas por filamentos de tungsténio, por exemplo, parece ter tido um efeito protetor na manutenção do ritmo circadiano, e especialmente na higiene do sono, contrariamente às lâmpadas LED. Este facto relaciona-se com a relativa falta de sensibilidade que o ritmo circadiano possui à luz vermelha-amarela característica dos filamentos de tungsténio. (6) Atualmente, a realidade alterou-se com as lâmpadas LED e com a tendência para o uso de aparelhos emissores de luz antes do adormecer, de uma forma sistemática e crescente, facto este que contribui para alterar horários e representa consequências no ritmo biológico. (6,42,43)

6.2.1 Os Dispositivos Eletrónicos Emissores de Luz

Um modelo teórico sugere que diversos mecanismos podem estar na génese da relação entre a utilização de dispositivos eletrónicos e os distúrbios do sono. Esses mecanismos são: a substituição das horas que estariam reservadas ao sono pelo consumo de tempo inerente aos meios tecnológicos; a ação excitatória provocada pela diversidade de estímulos dos conteúdos disponíveis; o efeito associado à exposição à luz brilhante desses aparelhos, com alterações no ritmo circadiano; a radiação eletromagnética que também parece provocar um efeito negativo no sono; a repercussão física, nomeadamente dores musculares ou cefaleias que podem ser causadas pelo seu uso prolongado ou, ainda, o seu uso recorrente no quarto, interferindo com as propriedades indutoras do sono que lhe são inerentes. (43) De facto, todos estes mecanismos parecem fazer sentido, levando a considerar uma provável relação entre todos eles como potencial responsável pelas dificuldades no sono. Quanto ao papel desempenhado pela luz, as consequências negativas da exposição noturna a

estes dispositivos estão relacionadas com o facto de emitirem luz enriquecida em comprimentos de onda curtos, no espectro do azul, suprimindo a melatonina, promovendo o estado de alerta e desencadeando mudanças de fase no relógio biológico. (42)

Estudos recentes têm vindo a demonstrar que a utilização de dispositivos eletrónicos pode interferir no sono de crianças e adolescentes. Dube *et al* (44) conclui que crianças que não possuem dispositivos eletrónicos no quarto e que, frequentemente, leem um livro impresso na última hora antes do sono beneficiam de uma melhor duração, qualidade e eficiência do sono quando comparadas com crianças que usam dispositivos eletrónicos nessa mesma hora.

Também uma grande maioria dos adolescentes utiliza diversos dispositivos eletrónicos durante o decorrer do dia, estendendo o seu uso até à última hora antes do sono, facto que parece estar relacionado com uma higiene inadequada do sono. (35,43) A utilização do computador ou do telemóvel na cama antes do sono tem sido associada positivamente com a insónia e negativamente com o despertar. (35) Jovens em idade escolar com acesso a dispositivos eletrónicos no quarto deitam-se mais tarde, apresentam uma duração de sono mais curta e uma menor qualidade do sono em comparação com jovens sem esses hábitos. (45) O uso de múltiplos dispositivos parece estar associado a uma maior latência do sono e a uma redução mais significativa na duração do sono comparativamente à utilização de apenas um dispositivo (43). Além disso, indivíduos com atrasos de fase no sono, com cronótipos tardios, parecem ser mais suscetíveis à luz no período noturno do que os indivíduos com cronótipos mais precoces. (35)

Chang *et al* (42) comparou os efeitos da leitura de um *eBook* (livro eletrónico), efetuada por intermédio de um dispositivo emissor de luz, com os efeitos da leitura de um livro impresso com recurso à reflexão da luz, nas horas antecedentes ao sono, em adultos jovens. Os resultados revelaram que o primeiro aumenta a latência do sono, induz uma menor sensação de sonolência, associa-se a uma redução da secreção de melatonina, provoca um atraso no ritmo circadiano, apresenta um menor registo de sono REM e compromete o estado de alerta na manhã seguinte. Estes efeitos biológicos podem perpetuar um sono deficiente com desregulação do ritmo circadiano, contribuindo negativamente para o desempenho diário e para a saúde. Rantell *et al* (45) defende que o efeito supressor na produção de melatonina, causado pela utilização noturna de um *tablet* (emissor de luz enriquecida em comprimentos de onda curtos), pode ser atenuado pela exposição diurna prévia a luz brilhante, durante um a vários dias. Também em adultos jovens, a exposição a um ecrã LED, durante 5 horas, no período noturno, suprime a produção de melatonina e aumenta subjetivamente e objetivamente o estado de alerta. (35)

Têm sido propostas novas ferramentas como forma de atenuação das propriedades inerentes à luz enriquecida em comprimentos de onda na ordem do azul. Assim, Lely *et al* (35) investigou, em rapazes adolescentes, durante 2 semanas, o uso de óculos de lentes cor-de-laranja bloqueadoras de luz azul (*orange-tinted blue light blocking glasses*, ou simplesmente, *blue blockers*, BB), com capacidade para filtrar os comprimentos de onda

curtos da porção azul do espectro visível. Em comparação com o grupo de controlo, o grupo que usufruiu dos BB apresentou uma diminuição da supressão de melatonina perante a exposição noturna a um ecrã LED e um aumento da sensação de sonolência. Contudo, a PSG não registou alterações relevantes, bem como o período da manhã seguinte. Outros estudos defendem que a utilização de BB, antes do sono, por um período de pelo menos 2 semanas, melhora consideravelmente a sensação subjetiva da qualidade do sono. (35)

Aplicações para telemóveis ou computadores, por exemplo, que alteram o espectro luminoso do ecrã do dispositivo já se encontram disponíveis em determinados aparelhos eletrónicos e permitem ao utilizador a possibilidade de filtrar a luz azul nas horas precedentes ao sono. (5,11)

7. Considerações Finais

A existência de luz é uma condição para a vida humana, sendo um dos melhores sincronizadores do ritmo circadiano. A luz acompanha os processos de crescimento e desenvolvimento físico, mental, social, sendo fundamental para o desempenho diário. De facto, a evolução da luz artificial representa um forte aliado do estado do alerta, de auto-realização e de atividade e produtividade diárias, e pode, ainda, simbolizar um indicador de progresso e de riqueza de grandes áreas urbanas com iluminações exteriores cada vez mais numerosas, diversificadas e brilhantes. Porém, como a presença de luz, também a sua ausência se manifesta essencial para fomentar a homeostasia humana, daí que seja importante recuperar o respeito pelos momentos de escuridão, ação que tem vindo a ser contrariada pelas sociedades modernas e mais desenvolvidas.

As idades mais jovens são particularmente suscetíveis aos efeitos da luz e da tecnologia e crianças e adolescentes têm, também, um risco acrescido de longa exposição, dada a tendência para perpetuar hábitos ao longo da vida, com eventuais repercussões na saúde do sono e do seu ritmo biológico. Reconhecer desde cedo que o sono não se limita a uma simples ausência da vigília, mas que representa um processo mais complexo de restabelecimento do equilíbrio interno, é um dos primeiros elementos para alcançar um sono saudável e procurar hábitos compatíveis com uma rotina favorecedora do sono.

São necessárias mais investigações para clarificar o efeito do uso de dispositivos antes do sono e o seu impacto, mas talvez seja importante considerar a utilização excessiva e desregulada de aparelhos eletrónicos emissores de luz como um problema de saúde pública, com necessidade de intervenção a nível da prevenção primária. É importante alertar para os benefícios e malefícios da luz brilhante e, mais concretamente, compreender que, atualmente, a maioria dos aparelhos eletrónicos que estão disponíveis emitem uma luz rica em comprimentos de onda curtos na ordem do azul e apresentam capacidade para desregular o ritmo circadiano quando usados em horas próximas ao sono. É necessário ponderar restringir o uso destes dispositivos, tendo em conta a faixa etária, como medida para auxiliar a regular os horários de sono e, possivelmente, melhorar o desempenho diário. Quando incontornável a necessidade de utilizar, por exemplo, o computador ou o telemóvel antes de dormir, pode ser benéfico recorrer a medidas atenuadoras de luz azul. Importa ressaltar que a luz enriquecida em comprimentos de onda na ordem do azul não é isenta de benefícios. Esta auxilia à manutenção do estado de alerta, melhora o humor, promove o melhor desempenho diário e propicia uma melhor qualidade de sono na noite subsequente, devendo, por isso, ser preferencialmente utilizada em ambientes onde o objetivo é a atividade e a produtividade diárias, como em ambientes laborais.

Em suma, talvez o ideal seria respeitar o ritmo da natureza, procurando mimetizar sempre que possível a luz solar como forma de minimizar a desregulação do ritmo circadiano. As rotinas e as exigências atuais não são plenamente compatíveis com esta última ideia, pelo

que são necessários muitos esforços para procurar criar bons hábitos e educar novas gerações no sentido de respeitar, pelo menos, as últimas horas do dia que representam um substrato importante para um bom sono, um sono saudável, e conseqüentemente, propiciam um bom desempenho diário.

Bibliografia

1. Soares Â. O Sono: Efeitos da sua privação sobre as defesas orgânicas. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda; 2010.
2. Paiva T. Bom sono, boa vida. 7th ed. Alfragide: Oficina do Livro - Sociedade Editorial, Lda; 2015.
3. Paiva T, Penzel T. Centro de Medicina do Sono. Lisboa: Lidel - Edições técnicas, Lda; 2011.
4. Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CCM, Elvidge CD, Baugh K, et al. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci Adv.* 2016 Jun 10; 2(6): e1600377. doi: 10.1126/sciadv.1600377
5. Winter WC. Dormir Bem Para Viver Melhor. Porto: Albatroz; 2017.
6. Van Gelder RN. A tablet that shifts the clock. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2015 Jan 27; 112(4): p. 946-7.
7. Martinez D. Insônia na Prática Clínica. Porto Alegre: Artmed Editora S.A.; 2005.
8. Buysse DJ. Sleep Health: Can We Define It? Does It Matter? *Sleep.* 2014 Jan 1; 37(1): p. 9-17.
9. Reite M, Ruddy J, Nagel K. Transtornos do Sono. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A.; 2004.
10. Afonso P. As Alterações do Sono nas Doenças Psiquiátricas. In Figueira ML, Sampaio D, Afonso P. *Manual de Psiquiatria Clínica.* Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda; 2014. p. 310-12.
11. Mendelson WB. *The Science of Sleep.* Chicago: The University of Chicago Press; 2017.
12. Pires AM, Cavaglia F, Arriaga F. Sono e Insónia. Linda-a-Velha: Vale & Vale Editores, Lda; 2004.
13. Paiva T, Pinto HR. Os Mistérios do Sono. Lisboa: Bertrand Editora; 2010.
14. Castrucci AM. Efeitos da Luz nos Ritmos Humanos. *Ciência Hoje.* 2015 Jun; 55: p. 24-27.
15. Gooley J. Treatment of Circadian Rhythm Sleep Disorders with Light. *Ann Acad Med Singapore.* 2008 Ago; 37(8): p. 669-76.

16. Bonmati-Carrion M, Arguelles-Prieto R, Martinez-Madrid MJ, Reiter R, Hardeland R, Rol MA, et al. Protecting the Melatonin Rhythm through Circadian Healthy. *Int J Mol Sci*. 2014 Dez 17; 15(12): p. 23448-500.
17. Bernard S, Gonze D, Cajavec B, Herzel H, Kramer A. Synchronization-Induced Rhythmicity of Circadian Oscillators in the Suprachiasmatic Nucleus. *PLoS Comput Biol*. 2007 Abr 13; 3(4): e68. doi:10.1371/journal.pcbi.0030068.
18. Najjar R, Chiquet C, Teikari P, Cornut PL, Claustrat B, Denis P, et al. Aging of Non-Visual Spectral Sensitivity to Light in Humans: Compensatory Mechanisms? *PLoS One*. 2014 Jan 23; 9(1): e85837. doi:10.1371/journal.pone.0085837.
19. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, et al. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *J Neurosci*. 2001 Ago 15; 21(16): p. 6405-12.
20. Borbély AA, Dann S, AWJ, Deboer T. The two-process model of sleep regulation: a reappraisal. *J Sleep Res*. 2016 Abr; 25(2): p. 131-43.
21. Anshel J, Berkwits H, Sheedy J, Middendorf S, Sommerich C, Glasser S, et al. *Visual Ergonomics Handbook*. Anshel J, editor. New York: Taylor & Francis Group; 2005.
22. Sliney D. What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye (Lond)*. 2016 Fev; 30(2): p. 222-9.
23. Bourgin P, Hubbard J. Alerting or Somnogenic Light: Pick Your Color. *PLoS Biol*. 2016 Ago 15; 14(8): e2000111. doi: 10.1371/journal.pbio.2000111.
24. Gabel V, Maire M, Reichert CF, Chellappa S, Schmidt C, Hommes V, et al. Effects of Artificial Dawn and Morning Blue Light on Daytime Cognitive Performance, Well-being, Cortisol and Melatonin Levels. *Chronobiol Int*. 2013 Out; 30(8): p. 988-97.
25. Gabel VRC, Maire M, Schmidt C, Schlangen L, Kolodyazhniy V, Garbazza C, et al. Differential impact in young and older individuals of blue-enriched white light on circadian physiology and alertness during sustained wakefulness. *Sci Rep*. 2017 Ago 8; 7(1): 7620 doi: 10.1038/s41598-017-07060-8
26. Butcher G. *Tour of The Electromagnetic Spectrum*. 3rd ed. Washington: National Aeronautics and Space Administration; 2016. p. 18-9.
27. Delgado-Bonal A, Martin-Torres J. Human vision is determined based on information theory. *Sci Rep*. 2016; 6: 36038. doi:10.1038/srep36038.

28. Revell VL, Skene DJ. Light-Induced Melatonin Suppression in Humans with Polychromatic and Monochromatic Light. *Chronobiol Int.* 2007; 24(6): p. 1125-37.
29. Sexton T, Buhr E, N. VGR. Melanopsin and Mechanisms of Non-visual Ocular Photoreception. *J Biol Chem.* 2012 Jan 13; 287(3): p. 1649-56.
30. Lucas RJ, Peirson S, Berson DM, Brown TM, Cooper HM, Czeisler CA, et al. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci.* 2014 Jan; 37(1): p. 1-9.
31. Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis.* 2016 Jan 24; 22: p. 61-72.
32. Gooley JJ, Rajaratnam SM, Brainard GC, Kronauer RE, Czeisler CA, Lockley SW. Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance and duration of exposure to light. *Sci Transl Med.* 2010 Mai 12; 2(31): 31ra33
33. Lockley SW, Brainard GC, Czeisler CA. High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003 Set; 88(9): p. 4502-5.
34. Lehl S, Gerstmeyer K, Jacob JH, Frieling H, Henkel AW, Meyrer R, et al. Blue light improves cognitive performance. *J Neural Transm (Vienna).* 2007 Abril; 114(4): p. 457-60.
35. Lely S, Frey S, Garbazza C, Wirz-Justice A, Jenni OG, Steiner R, et al. Blue Blocker Glasses as a Countermeasure for Alerting Effects of Evening Light-Emitting Diode Screen Exposure in Male Teenagers. *J Adolesc Health.* 2015 Jan; 56(1): p. 113-9.
36. Najjar RP, Wolf L, Taillard J, Schlangen LJM, Salam A, Cajochen C, et al. Chronic Artificial Blue-Enriched White Light is an Effective Countermeasure to Delayed Circadian Phase and Neurobehavioral Decrements. *PLoS One.* 2014; 9(7): e102827. doi: 10.1371/journal.pone.0102827.
37. van Maanen A, Meijer A, van der Heijden K, Oort FJ. The effects of light therapy on sleep problems: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2016 Out; 29: p. 52-62.
38. Le Bourgeois MK, Hale L, Chang AM, Akacem LD, Montgomery-Downs HE, Buxton OM. Digital Media and Sleep in Childhood and Adolescence. *Pediatrics.* 2017 Nov; 140(Suppl 2): S92-S96. doi:10.1542/peds.2016-1758J.
39. Ferguson I, Melton A, Li N, Nicol D, Park EH, Tosini G. Imitating Broadband Diurnal Light Variations Using Solid State Light Sources. *J Light & Vis Env.* 2008; 32(2): p. 63-8.

40. Hatori M, Gronfier C, Gelder RNV, Bernstein PS, Carreras J, Panda S, et al. Global rise of potential health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies. *NPJ Aging Mech Dis.* 2017 Jun 16; 3: 9. doi:10.1038/s41514-017-0010-2.
41. Kyba CCM, Kuester T, Miguel ASd, Baugh K, Jechow A, Hölker F, et al. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extend. *Sci Adv.* 2017 Nov 22; 3(11): e1701528. doi: 10.1126/sciadv.1701528.
42. Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2015 Jan 27; 112(4): p. 1232-7.
43. Hysing M, Pallesen S, Stormark KM, Jakobsen R, Lundervold AJ, Sivertsen B. Sleep and use of electronic devices in adolescence: results from a large population-based study. *BMJ Open.* 2015 Feb 2; 5(1): e006748. doi: 10.1136/bmjopen-2014-006748.
44. Dube N, Khan K, Loehr S, Chu Y, Veugelers P. The use of entertainment and communication technologies before sleep could affect sleep and weight status: a population-based study among children. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2017 Jul 19; 14(1): 97. doi: 10.1186/s12966-017-0547-2.
45. Rangtall FH, Ekstrand E, Rapp L, Lagermalm A, Liethof L, Búcaro M, et al. Two hours of reading on a self-luminous tablet vs. reading a physical book does not alter sleep after daytime bright light exposure. *Sleep Med.* 2016 Jul; 23: p. 111-118.